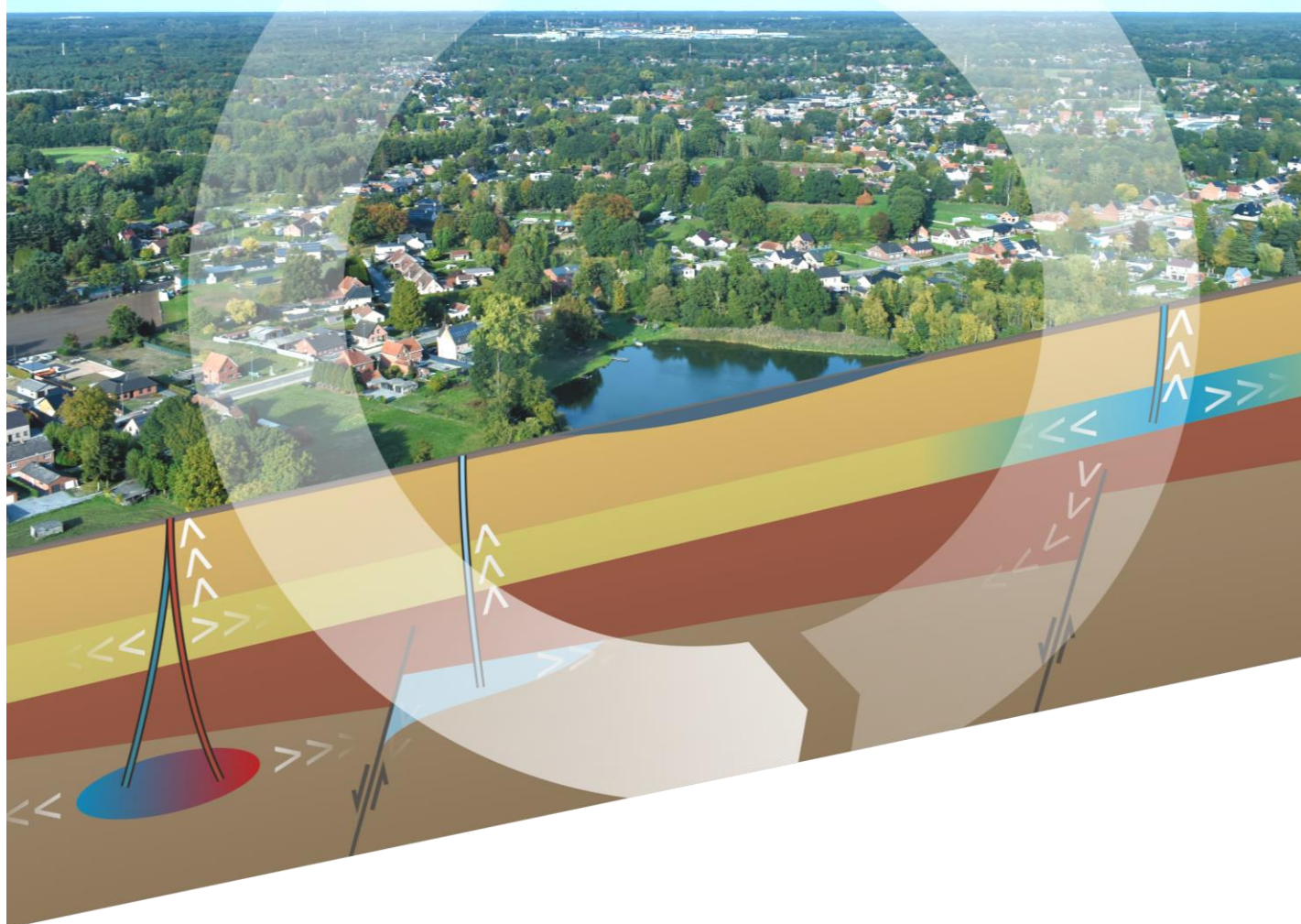




Vlaanderen
is omgeving



D3 Principes, criteria en indicatoren voor een duurzaamheidsevaluatie van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Deelrapport 3

**DEPARTEMENT
OMGEVING**

omgevingvlaanderen.be

D3. Principes, criteria en indicatoren voor een duurzaamheidsevaluatie van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen

Dit rapport geeft een weergave van de principes, criteria en indicatoren die toegepast kunnen worden voor een duurzaamheidsevaluatie van het meervoudig gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Deze resultaten zijn tot stand gekomen door middel van een literatuurstudie, een Delphi-bevraging in twee rondes bij nationale en internationale experts en een workshop met stakeholders die gehouden werd op 19 juni 2023.

Dit rapport bevat de mening van de auteur(s) en niet noodzakelijk die van de Vlaamse Overheid.

COLOFON

Verantwoordelijke uitgever

Toon Denys
Departement Omgeving
Vlaams Planbureau voor Omgeving
Koning Albert II-laan 15 bus 553, 1000 Brussel
vpo.omgeving@vlaanderen.be
www.omgevingvlaanderen.be

Auteurs

Tine Compennolle – UAntwerpen | FBE & KBIN | Belgische Geologische Dienst
Kris Welkenhuysen – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Kris Piessens – KBIN | Belgische Geologische Dienst
Anne Bergmans – UAntwerpen | FSW

Publicatiedatum

2 juni 2025

Depotnummer

D/2025/3241/122

ISBN nummer

9789040304781

Wijze van citeren

Compennolle, T., Welkenhuysen, K., Piessens, K., Bergmans, A. (2025). D3. Principes, criteria en indicatoren voor een duurzaamheidsevaluatie van het gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. In, *Maatschappelijke impact van het gebruik en beheer van de Vlaamse diepe ondergrond*. Departement Omgeving. Vlaams Planbureau voor Omgeving.

PARTNERS



**Universiteit
Antwerpen**

MANAGEMENTSAMENVATTING

Duurzame ontwikkeling en het meten van de vooruitgang op weg naar duurzaamheid zijn prioriteit geworden in wetenschappelijk onderzoek en op beleidsagenda's. Duurzaamheidsbeoordelingen zijn daarbij hulpmiddelen om beleidsmakers te helpen beslissen welke acties ze kunnen ondernemen (of niet) om de samenleving duurzamer te maken. Omdat duurzaamheid verschillende dimensies omvat (de typische dimensies zijn: economisch, milieu, en sociaal) en niet met één maatstaf te meten is, wordt er in voorliggend rapport een overzicht gegeven van de principes, criteria en indicatoren die gemeten kunnen worden om de verscheidenheid aan impact van het gebruik van de diepe ondergrond te bepalen en te beoordelen of deze impact als wenselijk beschouwd kan worden. Specifiek werd een ecologisch economische benadering gehanteerd met daarbij een expliciete erkenning van de geologische dimensie binnen deze evaluatie.

De principes voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond zijn als volgt gedefinieerd:

1. Principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen (P1)

Dit principe werd opgedeeld in twee deelprincipes en trapsgewijs gedefinieerd.

P1a. Principe van het behoud van hulpbronnen.

De voorraad hulpbronnen moet behouden blijven voor toekomstige generaties.

Trap 1: voor geologische hulpbronnen die hernieuwbaar zijn, betekent dit dat het extractietempo beperkt moet blijven tot het regeneratietempo (behoud van hulpbronnen).

Trap 2: voor niet-hernieuwbare geologische hulpbronnen moet de extractie van hulpbronnen gepaard gaan met de creatie van hernieuwbare equivalenten (koppeling van hulpbronnen).

Trap 3: als een winning van hulpbronnen (hernieuwbaar of niet) noodzakelijk is maar niet duurzaam kan zijn, dient deze winning de beschikbaarheid van hulpbronnen op de lange termijn te maximaliseren (verlenging van hulpbronnen).

P1b. Principe van het behoud van het assimilatievermogen

Het assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem moet behouden blijven voor toekomstige generaties.

Trap 1: de ontginningsschaal van geologische hulpbronnen dient beperkt te worden zodat de gerelateerde afvalstromen het hernieuwbare assimilatievermogen van de aarde als eco-systeem niet overschrijden (behoud van assimilatievermogen).

Trap 2: als assimilatieprocessen te traag zijn om hernieuwbaar beschouwd te worden, dan moet het verlies aan assimilatievermogen gepaard gaan met een actief herstel van dat vermogen (koppeling van assimilatievermogen).

Trap 3: indien activiteiten onvermijdelijk leiden tot niet-duurzame afvalstromen, dan moeten deze het verlies aan assimilatieve capaciteit op de lange termijn minimaliseren (assimilatieve capaciteitsverlenging).

2. Principe van efficiënte allocatie

Indien ontwikkeling van de diepe ondergrond wenselijk wordt geacht, moet dit worden gepland en uitgevoerd met het hoogste netto voordeel voor de samenleving.

3. Principe van eerlijke (of rechtvaardige) verdeling

Het gebruik van de ondergrond moet gepaard gaan met een eerlijke verdeling van kosten en baten binnen en tussen generaties.

Bovenstaande principes kunnen omschreven worden als ‘inhoudelijk’. Zij hebben in hoofdzaak betrekking op de inhoud van de activiteit(en) in kwestie. Daarnaast worden er 3 bijkomende principes vooropgesteld die meer ‘procesmatig’ zijn. Zij hebben betrekking op bestuurlijke en beheeraspecten bij de ontwikkeling en uitvoering van de activiteit(en) in kwestie.

4. Principe van transparantie

Planning en ontwikkeling van de diepe ondergrond moeten op een transparante manier plaatsvinden. Dit omvat passende communicatie van data naar alle huidige en toekomstige belanghebbenden, en goed gegevensbeheer, geleid door zowel het FAIR-principe (vindbaar, toegankelijk, uitwisselbaar en herbruikbaar: Findable, Accessible, Interoperable and Reusable) als het principe “zo open als mogelijk, zo gesloten als nodig”.

5. Principe van inclusief bestuur

Zij die (mogelijk) gevolgen ondervinden van het gebruik van de diepe ondergrond moeten op passende wijze worden geïnformeerd, geraadpleegd en betrokken bij het besluitvormingsproces tijdens de planning, implementatie-, exploitatie- en ontmantelingsfasen van activiteiten in de ondergrond.

6. Principe van verantwoord risicobeheer

- Voorzorgsprincipe: activiteiten met een onzeker potentieel voor significante schade moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer van de activiteit wetenschappelijk aantoont dat de risico's voldoende gekwantificeerd zijn.
- Preventieprincipe: activiteiten die significante schade met zich meebrengen, moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer van de activiteit wetenschappelijk aantoont dat de significante risico's of schade voldoende gemitigeerd zijn.

Voor elk van deze principes werden criteria en indicatoren bepaald. Dit rapport biedt een eerste stap in een levend proces van verdere toetsing en verfijning in de praktijk. In Deliverable 7 worden enkele van deze indicatoren gemeten en gebruikt om verschillende beleidsscenario's voor het gebruik van de diepe ondergrond te evalueren.

INHOUDSTAFEL

1	Inleiding	7
2	Principes, criteria en indicatoren voor het duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen	12
2.1	Principe 1. principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen	12
	Criteria en indicatoren verbonden aan principe 1	15
2.2	Principe 2. Principe van efficiënte allocatie	19
	Criteria en indicatoren verbonden aan principe 2	20
2.3	Principe 3. Principe van eerlijke (of rechtvaardige) verdeling	23
	Criteria en indicatoren verbonden aan principe 3	24
2.4	Principe 4. Principe van transparantie	26
	Criteria en indicatoren verbonden aan principe 4	27
2.5	Principe 5. Principe van inclusief bestuur	29
	Criteria en indicatoren verbonden aan principe 5	30
2.6	Principe 6. Principe van verantwoord risicobeheer	31
	Criteria en indicatoren verbonden aan principe 6	32
3	Het opstellen van een evaluatiekader gekoppeld aan Principes, criteria, en indicatoren.	34
3.1	Het beslisboommodel	34
3.2	De Impactevaluatie	34
4	Conclusie.....	36
	Referenties.....	37

1 INLEIDING

Vergelijkbaar met ecosystemen bovengronds kan de ondergrond worden beschouwd als een geosysteem, een complex, onderling verbonden systeem, dat levensondersteunende, regulerende, culturele en voorzienende diensten levert. Momenteel worden er verschillende activiteiten op verschillende diepten onderzocht en ontwikkeld [1]. De ruimte onder de grond die geschikt is voor deze activiteiten is echter beperkt, waardoor overexploitatie en concurrentie tussen verschillende gebruiksfuncties kunnen optreden. Met de ambitie om klimaatneutraliteit te bereiken, zal de vraag naar het gebruik van de diepe ondergrond verder toenemen door bijvoorbeeld de toename van geothermische energieproductie, hoge temperatuur warmteopslag, bio-energieproductie in combinatie met CO₂-opslag, tijdelijke opslag van groene waterstof, of andere vergelijkbare activiteiten. Elke activiteit in de diepe ondergrond kan zowel kortstondige als meer permanente gevolgen hebben (verandering van druk, verandering van temperatuur of geïnduceerde seismiteit, verandering van chemie, lekkage en verspreiding van ongewenste stoffen, verandering van eigenschappen van gesteente, grondverzakking of verplaatsing van geothermisch pekelwater) die van invloed kunnen zijn op andere potentiële (toekomstige) activiteiten in de diepe ondergrond en gerelateerde economische, ecologische en sociale processen binnen de samenleving [2].

Kadering van voorliggend rapport in het geheel van de overheidsopdracht

Deze overheidsopdracht beoogt bij te dragen aan het uitwerken van een afwegingssystematiek opdat het beperkt, ondergronds volume in Vlaanderen zo optimaal mogelijk aangewend zou kunnen worden. Dit afwegingskader moet helpen om na te denken over toekomstig gebruik van de diepe ondergrond en inzicht te geven in de mogelijke maatschappelijke impact van het meervoudig gebruik van de diepe ondergrond. Impact kan zowel kwantitatief als kwalitatief bepaald worden. Het is daarbij belangrijk dat de impactanalyse die in deze studie gemaakt wordt elke toepassing objectief en gelijkwaardig behandelt. De impactanalyse wordt geënt op de Vlaamse situatie en het Vlaamse beleid.

Om concreet te maken wat 'optimaal gebruik van de diepe ondergrond' precies inhoudt, stellen de uitvoerders van de opdracht voor om een duurzaamheidskader van principes, criteria en indicatoren uit te werken. Indicatoren zijn daarbij de maatstaven waarmee de impact van het gebruik van de diepe ondergrond gemeten kunnen worden. Deze indicatoren vloeien voort uit duurzaamheidsprincipes -en criteria die vooropgesteld worden op basis van literatuurstudie en een tentatieve bevraging van experts en belanghebbenden (zie infra).

Duurzaam beheer van de diepe ondergrond

Duurzaam beheer van de diepe ondergrond omvat het beperken van het risico op uitputting van hulpbronnen, onbeschikbaarheid van hulpbronnen, het minimaal belasten van het ecosysteem en het milieu, het minimaliseren van veiligheidsrisico's en het vermijden van geschillen tussen exploitanten. De huidige samenleving verwacht dat dit transparant gebeurt en met duidelijkheid over de rollen van regelgevers, verschillende betrokken actoren en het bredere publiek [3]. Planners moeten rekening kunnen houden met onzekerheden en interferentie-effecten tussen activiteiten

kunnen beheren. Dergelijke planning zou idealiter moeten worden uitgevoerd op een schaal die het gehele geosysteem bestrijkt, voordat de ontwikkeling van hulpbronnen in de diepe ondergrond plaatsvindt, en zou vervolgens periodiek moeten worden herzien naarmate de kennis verbetert [4].

Door duurzaamheid centraal te stellen in regelgevende kaders kunnen nationale en lokale overheden een gedeelde visie creëren voor verschillende groepen belanghebbenden over hoe ontwikkelingen in de diepe ondergrond op de lange termijn en binnen een koolstofneutraal energiesysteem kunnen worden gepland en gereguleerd, terwijl rekening wordt gehouden met meerdere bronnen van onzekerheid en verschillende procesdynamieken [5]. Gezien het maatschappelijke belang van de ondergrond [6, 7], wordt de noodzaak om het gebruik van de ondergrond zorgvuldig te beheren en de noodzaak om de ondergrond op een duurzame manier te gebruiken steeds meer erkend. Inzicht in natuurlijke rijkdommen, hun processen en beheer, evenals het toepassen van geologische vaardigheden en praktijken, worden belangrijk geacht voor het behalen van de Sustainable Development Goals (SDG's). Zie bijvoorbeeld Gill [8] en the International Geoscience Programme (s.d.) voor een gedetailleerd overzicht.

Landen en regio's die werken aan het bereiken van de SDG's constateren een toenemende vraag naar gebruik van de (diepe) ondergrond en geven aan behoefte te hebben aan een wetenschappelijk gefundeerd beslissingsondersteunend kader. Beleidsdoelen zijn daarbij het vermijden van gebruikskonflikten, het in evenwicht brengen van 'gebruik en behoud' en het afstemmen van het gebruik van de ondergrond op bovengrondse duurzaamheidsdoelen in een context waarin het grote publiek kritisch staat tegenover de exploitatie van geologische hulpbronnen en bezorgd is over veiligheidsrisico's [9].

Het begrip 'duurzaamheid'

De concepten van duurzaamheid en duurzame ontwikkeling ontstonden in de jaren 1980 en de bekendste definitie van duurzame ontwikkeling werd gegeven in het beroemde Brundtland-rapport. Dit rapport definieerde duurzame ontwikkeling als een ontwikkeling die "voorziet in de behoeften van de huidige generaties zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen" [10]. Binnen de wetenschappelijke literatuur bestaan er verschillende bronnen om de term verder te definiëren en er zijn verschillende debatten ontstaan over hoe de concepten van duurzame ontwikkeling en duurzaamheid moeten worden benaderd [11]. Of het nu gepresenteerd wordt als een 'efficiënte, rechtvaardige en duurzame economie' [12], 'triple bottom line' [13], 'of 'donut economie' [14], het streven naar duurzaamheid komt neer op (i) ervoor zorgen dat de hulpbronnen van de aarde collectief niet worden overgeëxploiteerd (duurzame schaal), (ii) ervoor zorgen dat niemand tekort komt in de primaire levensbehoeften (rechtvaardige verdeling van kosten en baten), en (iii) dit doen tegen de laagste milieu- en economische kosten (efficiëntie). Aan deze algemene principes van duurzaamheid kan een vierde worden toegevoegd, namelijk (iv) participatie van belanghebbenden bij het ontwikkelen en evalueren van ondersteunend beleid. Dit laatste principe houdt verband met de verantwoordingsplicht van beleid (en projecten), met een groeiende nadruk op een 'rechtvaardige overgang' naar duurzaamheid (bijv. Krawchenko and Gordon [15]), en met de ethische overweging van waardepluralisme [16].

In het kader van deze opdracht vertrekken de uitvoerders vanuit de duurzaamheidsprincipes zoals ze gedefinieerd worden binnen het domein van de Ecologische Economie. Vertrekpunt daarbij is de erkenning dat het economische systeem onderdeel vormt van het globale ecosysteem 'aarde'. Het economische systeem bestaat uit bedrijven, overheden en huishoudens die goederen en diensten produceren en/of verbruiken. In een vrijemarkteconomie kunnen deze actoren vrij handelen om hun eigen positie te verbeteren en daarbij verbeteren ze ook de economische welvaart van de maatschappij in haar geheel. Om goederen en diensten te produceren en het afval na consumptie te verwerken, steunt het economisch systeem op de diensten die voorzien worden door de aarde. Deze diensten omvatten het verstrekken van producten (bv. drinkwater, mineralen), regulerende diensten (bv. klimaatregulering), culturele diensten (bv. recreatie) en ondersteunende diensten (bv. nutriëntenkringloop). Het economische systeem is een open systeem dat deel uitmaakt van het globale ecosysteem. Dit ecosysteem is eindig, groeit niet en is materieel gesloten. Het ecosysteem is wel open wat betreft de doorstroom aan zonne-energie. Deze energiestroom is continu, en groeit niet. Om te komen tot duurzame ontwikkeling, schuiven Herman Daly en Joshua Farley [17] drie beleidsdoelstellingen naar voor [17]:

- een uitoefening van economische activiteiten op een schaal die ecologisch duurzaam is;
- een rechtvaardige verdeling van de natuurlijke hulpbronnen (verwerkt in finale economische goederen en diensten) binnen en tussen generaties;
- een efficiënte toewijzing van natuurlijke hulpbronnen aan finale producten en diensten, conform aan de voorkeuren en betalingsbereidheid van individuen.

Duurzame, ecologische schaal. Het doel of de uiteindelijke baat van elk economisch systeem is de bevrediging van behoeften. Binnen de ecologische economie krijgt de bevrediging van menselijke basisbehoeften voorrang op loutere wensen. Om aan deze behoeften te voldoen moet de economie niet groeien, maar zich op een duurzame schaal ontwikkelen. Schaal refereert naar het fysische volume van materie en energie dat doorheen de economie stroomt: gewonnen uit de natuurlijke omgeving als lage entropie hulpbronnen en teruggevoerd naar diezelfde natuurlijke omgeving als hoge entropie afval. De betekenis van dit volume, van deze schaal moet geëvalueerd worden door dit volume te plaatsen relatief ten opzichte van de capaciteit van de natuurlijke omgeving om op constante, aanhoudende basis de benodigde inputs te regenereren en afval te verwerken.

Rechtvaardige verdeling. Verdeling verwijst naar de relatieve verdeling van het volume aan natuurlijke hulpbronnen die vervat zijn in finale goederen en diensten, tussen verschillende mensen (inclusief toekomstige generaties). Een goede distributie is er een die rechtvaardig is, of tenminste een waarin de mate van ongelijkheid beperkt is binnen een acceptabele grens.

Efficiënte toewijzing. Toewijzing verwijst naar de relatieve toekenning van natuurlijke hulpbronnen aan verschillende eindproducten: hoeveel hulpbronnen gaan er naar de productie van auto's, koelkasten, kleding, voeding, Efficiënte toewijzing, ook bekend als allocatieve efficiëntie, is een kenmerk van een efficiënte, vrije markt waar de verdeling van goederen in een economie optimaal voldoet aan de behoeften en wensen van de samenleving. Het doel van allocatieve efficiëntie is ervoor te zorgen dat middelen zo worden gebruikt dat hun marginale voordeel voor de samenleving gelijk is aan hun marginale kosten. Allocatieve efficiëntie treedt op wanneer organisaties in de publieke en private sector hun middelen besteden aan projecten die het meest winstgevend zijn en

het meeste goed doen voor de bevolking, waardoor economische activiteiten worden bevorderd, maar wel binnen duidelijke grenzen volgens de principes van de ecologische economie.

Schaal wordt daarbij bewust als 'eerste' principe voorop gesteld. Idee is dat men eerst dient te bepalen wat de ecologische grenzen zijn aan de economische activiteiten. Rechtvaardige verdeling wordt beschouwd als het 'tweede' principe en stelt sociale grenzen aan de economische activiteiten. Binnen deze ecologische en sociale grenzen, kan vervolgens de vrije markteconomie haar gang gaan. Zowel 'schaal' als 'verdeling' zijn uitkomsten van maatschappelijke beslissingen, 'efficiënte toewijzing' is het resultaat van marktwerking.

Om deze drie principes te vertalen naar principes voor het duurzaam gebruik van de diepe ondergrond, is het niet evident om deze zo strikt gescheiden te houden. Het eerste principe dat in dit rapport voorgesteld wordt, is het principe van het 'behoud van hulpbronnen en het behoud van assimilatievermogen' en beperkt zich tot de 'diepe ondergrond' als hulpbron. Impact op andere natuurlijke hulpbronnen als gevolg van de exploitatie van dit ondergronds volume, wordt opgenomen onder het principe van efficiënte toewijzing. Dit principe van efficiënte toewijzing is dus ruimer dan louter de economische impact van het gebruik van de diepe ondergrond. Het principe van efficiënte toewijzing wordt getoetst door *alle* maatschappelijke effecten in kaart te brengen om zo na te kunnen gaan of het ondergrondse volume zodanig wordt ingezet dat de hoogst mogelijke netto-baat voor de maatschappij, met inbegrip van het milieu, kan gerealiseerd worden. Efficiënte toewijzing wordt in dit rapport als tweede principe omschreven omdat het logischer lijkt eerst in kaart te brengen wat de verschillende positieve en negatieve effecten zijn van het gebruik van de diepe ondergrond en vervolgens te bepalen wie deze effecten ondervindt en of deze verdeling als rechtvaardig beschouwd kan worden. Hoewel het principe van rechtvaardige verdeling als derde gerapporteerd wordt, beschouwen de uitvoerders van deze opdracht dit principe niet als 'het laatste' principe, maar wel degelijk als de bepaling van een sociale grens waarbinnen de economische exploitatie van de hulpbron kan plaatsvinden.

Bovenstaande principes kunnen omschreven worden als ‘inhoudelijk’. Zij hebben in hoofdzaak betrekking op de inhoud van de activiteit(en) in kwestie. Daarnaast worden er 3 bijkomende principes vooropgesteld die meer ‘procesmatig’ zijn. Zij hebben betrekking op bestuurlijke en beheeraspecten bij de ontwikkeling en uitvoering van de activiteit(en) in kwestie.

Hoofdstuk 2 gaat dieper in op de 6 principes voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond in Vlaanderen. Deze principes en de daaraan verbonden criteria en indicatoren (PC&I) zijn gebaseerd op wetenschappelijke literatuur ([18] en zie ook deliverable 1.2 voor meer informatie over het PC&I raamwerk) en een Delphi studie bij (inter)nationale experts. Daarnaast werden deze principes, criteria en indicatoren afgetoetst bij belanghebbenden tijdens een workshop die plaatsvond op 19 juni 2023 en tijdens individuele interviews die plaatsvonden tussen november 2023 en februari 2024. Principes worden beschouwd als de fundamentele regels waaraan een gebruik van de ondergrond moet voldoen om als duurzaam te worden beschouwd. Principes worden geformuleerd als een gebod. Op die manier definiëren de principes duurzaam gebruik van de diepe ondergrond.

Elk criterium bevat meerdere indicatoren. Indicatoren zijn de meetbare variabelen die het mogelijk maken om te beoordelen of al dan niet aan een bepaald criterium of randvoorwaarde wordt voldaan. Indicatoren kunnen kwantitatief, kwalitatief, continu of discreet zijn. Over het algemeen gaat de definitie van indicatoren gepaard met de definitie van een norm/drempel die een grens stelt tussen naleving en niet-naleving van een criterium, en de definitie van een methode, tool of instrument dat wordt gebruikt om de indicator te meten.

pagina 11 van 37

2 PRINCIPES, CRITERIA EN INDICATOREN VOOR HET DUURZAAM GEBRUIK VAN DE DIEPE ONDERGROND IN VLAANDEREN

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de principes voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond, opgesteld op basis van literatuuronderzoek, een delphistudie en een workshop die plaatsvond op 19 juni 2023 te Brussel (zie D3.1 verslag van workshop 1).

2.1 PRINCIPE 1. PRINCIPE VAN HET BEHOUD VAN HULPBRONNEN EN VAN HET ASSIMILATIEVERMOGEN

Principe van het behoud van hulpbronnen

De voorraad hulpbronnen moet behouden blijven voor toekomstige generaties.

Trap 1: voor geologische hulpbronnen die hernieuwbaar zijn, betekent dit dat het extractietempo beperkt moet blijven tot het regeneratietempo (behoud van hulpbronnen).

Trap 2: voor niet-hernieuwbare geologische hulpbronnen moet de extractie van hulpbronnen gepaard gaan met de creatie van hernieuwbare equivalenten (koppeling van hulpbronnen).

Trap 3: als een winning van hulpbronnen (hernieuwbaar of niet) noodzakelijk is maar niet duurzaam kan zijn, dient deze winning de beschikbaarheid van hulpbronnen op de lange termijn te maximaliseren (verlenging van hulpbronnen).

Principe van het behoud van het assimilatievermogen

Het assimilatievermogen van de aarde als ecosysteem moet behouden blijven voor toekomstige generaties.

Trap 1: de ontginningsschaal van geologische hulpbronnen dient beperkt te worden zodat de gerelateerde afvalstromen het hernieuwbare assimilatievermogen van de aarde als eco-systeem niet overschrijden (behoud van assimilatievermogen).

Trap 2: als assimilatieprocessen te traag zijn om hernieuwbaar beschouwd te worden, dan moet het verlies aan assimilatievermogen gepaard gaan met een actief herstel van dat vermogen (koppeling van assimilatievermogen).

Trap 3: indien activiteiten onvermijdelijk leiden tot niet-duurzame afvalstromen, dan moeten deze het verlies aan assimilatieve capaciteit op de lange termijn minimaliseren (assimilatieve capaciteitsverlenging).

Het 'Principe van het behoud van hulpbronnen en van het assimilatievermogen' (*principle of conserving resources and assimilative capacity*, P1), zoals geformuleerd in trappen 1 en 2, vertrekt van het beginsel dat hulpbronnen en het assimilatievermogen van het ecosysteem aarde integraal beschikbaar moeten blijven voor toekomstige generaties, oftewel rechtstreeks, oftewel door een actief opbouwen van hernieuwbare capaciteit. Dit komt overeen met de definitie van duurzaamheid volgens Daly [19]. Binnen deze opdracht wordt dit uitgangspunt verruimd en verduidelijkt met bijkomende principes, maar ook aan P1 zelf wordt een extra trap toegevoegd. De moeilijkheid die zich in praktijk stelt, is dat wanneer een ontginning van een grondstof niet duurzaam is volgens de

Principes worden in de praktijk altijd tegen elkaar afgewogen, en in het bijzonder voor geologische grondstoffen zijn de huidige en toekomstige noden van de maatschappij zo nauw verbonden met hun gebruik, dat niet duurzaam ontginnen (volgens P1) noodzakelijk kan zijn om levensnoodzakelijke of economische redenen. Dit maakt een derde trap noodzakelijk, die op een meer flexibele manier richtinggevend is en aangeeft wat meer of minder duurzaam is in functie van de schaal van ontginning (en eventuele verontreiniging of andere verstoring van het ecosysteem). Trap 3 verduidelijkt dat indien hernieuwbare extractie niet mogelijk is, deze op zodanige wijze moet gebeuren dat de 'lange-termijn' beschikbaarheid van hulpbronnen wordt gemaximaliseerd, bv. door te zorgen dat de gewonnen grondstoffen efficiënt worden ingezet in een circulair systeem. Het begrip 'lange-termijn' verwijst naar lange termijn in menselijke (niet geologische) context, en kan in criteria verduidelijkt worden als bv. x generaties. Deze uitbreiding verenigt twee noodzakelijke elementen: dwingen tot optimalisatie op lange termijn, maar toch toelaten om hulpbronnen in te zetten om huidige, dringende problemen aan te pakken; zij het enkel indien dit over lange-termijn de meest efficiënte en rechtvaardige oplossing is. Op die manier wordt duidelijk wat meer of minder duurzaam betekent, indien volledig duurzaam niet haalbaar is. Het al-dan-niet strikt hanteren van dit eerste principe is een beleidskeuze die gemaakt kan worden.

Bij de bespreking van dit deelprincipe is het onderscheid tussen extractieve en additieve activiteiten belangrijk. De extractieve activiteiten vormt mogelijk de belangrijkste en in elk geval meest traditionele groep, maar zijn ook de meest intuïtieve bij toepassing van het principe. Bij dit deelprincipe 'behoud van hulpbronnen' gebruiken we de term **extractieve activiteiten** wanneer hulpbronnen worden onttrokken aan de ondergrond. Op een aantal punten, ondermeer bij het formuleren van criteria, is het onderscheid tussen extractieve (sensu strictu) en **additieve activiteiten** belangrijk. Bij additieve activiteiten wordt materiaal of energie tijdelijk of permanent aan de ondergrond toegevoegd op zo'n manier dat het er deel van gaat uitmaken.

Meer concreet toegepast voor de potentiële activiteiten in de diepe ondergrond van Vlaanderen zijn alle vormen van thermische en potentiële energieopslag, opslag van aardgas of waterstof, opslag van CO₂ en injectie van grondwater vormen van additieve activiteiten. Dit betekent niet altijd dat de waarde van de ondergrond telkens wordt verhoogd. Bij tijdelijke opslag is dat meestal wel het geval, omdat er iets waardevol wordt toegevoegd met de bedoeling het later terug te winnen, maar bij permanente opslag van ongewenste stoffen zoals CO₂ is dat meestal omgekeerd.

Deelprincipe P1b 'behoud van het assimilatievermogen'

Aangezien de ondergrond een belangrijk deel is van het ecosysteem aarde, speelt assimilatie hier ook. Bepaalde potentiële oplossingen spelen hier rechtstreeks op in. Om de gedachtegang op te bouwen, vertrekken we bij het opslaan van CO₂ in de ondergrond. Deze verschilt van het uitstoten van CO₂ naar de atmosfeer in de mate dat het ecosysteem aarde verstoord wordt. Uitstoot naar de atmosfeer heeft duidelijk aantoonbare implicaties (klimaatverandering, verzuring oceanen...). Voor de opslag in de diepe ondergrond, zonder lekkage naar de biosfeer is dit anders. CO₂ komt natuurlijk voor in de ondergrond, en een toevoeging van extra hoeveelheden CO₂ in bepaalde mate verstoort het ecosysteem slechts zeer beperkt. Ondanks het feit dat CO₂ duidelijke assimilatieve grenzen heeft voor de bovengrond, zijn deze er veel minder voor de ondergrond. Deze redenering heeft natuurlijk enkel betrekking op het assimilatieve aspect van duurzaamheid (P1b).

Het feit dat er geen grenzen worden overschreden, betekent niet dat CO₂ opgenomen wordt en verwerkt wordt door het systeem, een betekenis die vaak met (bovengrondse) assimilatie wordt geassocieerd. In klassieke CO₂ opslagscenario's zal slechts een klein deel van het opgeslagen CO₂ worden opgelost of mineraliseren op een voor de mens relevante tijdschaal. Er zijn injectieschema's waar dat wel het geval is, door CO₂, opgelost in opgepompt formatiewater, te injecteren in reactieve gesteentes zoals basalt. Voor Vlaanderen zijn deze niet relevant, omdat er geen grote basaltafzettingen aanwezig zijn, en mogelijk reactieve mineralen aanwezig in andere formaties reeds in belangrijk mate omgezet zijn door geologische processen (bv. veldspaten in de Neeroeteren Formatie)[19].

Zoals uit bovenstaande blijkt, wordt principe 1 steeds toegepast per activiteit. Geen enkele activiteit staat natuurlijk op zich, en in het bijzonder wordt ontginning uitgevoerd om een waaier van andere activiteiten mogelijk te maken. Zo wordt steenkool ontgonnen om verbrand te worden voor elektriciteitsproductie, maar ook als reductans bij staalproductie uit erts, en voor een reeks van andere mogelijke toepassingen, al dan niet met afvang en hergebruik van CO₂ en andere emissies. Deze complexe vertakkingen betekenen dat de finale impact van een ton steenkool niet zomaar benoemd kan worden, zonder de totale valorisatieketen van die specifieke hoeveelheid in kaart te brengen. Dat gebeurt bij levenscyclusanalyse (althoewel deze meestal gericht zijn op eindproducten), waar een specifieke keten van activiteiten wordt uitgekarteerd.

pagina 14 van 37

Criteria en indicatoren verbonden aan principe 1

Trap 1 (behoud van hulpbronnen) is de meest ideale en strikte toepassing, waarbij natuurlijke regeneratie gelijke tred houdt met extractie (of injectie/toevoeging voor additieve activiteiten). Bij vertaling naar criteria is de aanwezige voorraad van een grondstof niet van belang, wel de natuurlijke regeneratie. In praktijk voldoen alle activiteiten die onder steady-state uitgebaat kunnen worden aan P1, en zijn ze daarom duurzaam in de meest strikte zin van het woord. Het meest bekend is dat voor grondwater, voor zover relevant voor de diepe ondergrond, maar ook cyclische opslag kan als een steady-state activiteit gezien worden, omdat opslag en productie (onttrekking) over langere termijn in balans zijn. Ter verduidelijking wordt met 'steady-state' bedoeld dat de impact van een aanwezige activiteit een aanvaardbaar maximum bereikt, en daarna stabiel is. Er is dus wel degelijk een impact, maar deze is beperkt en bij stopzetting van de activiteit zal de oorspronkelijke natuurlijke situatie zich opnieuw herstellen binnen een redelijke termijn. Belangrijk hierbij is dat dit herstel volledig is. Indien er bijvoorbeeld na stopzetting van drinkwaterontginning wel een drukherstel is, maar een blijvende chemische verstoring of compactie van de ondergrond, dan wordt trap 1 van P1 geschonden.

Dit resulteert in de volgende randvoorwaarden:

- pagina 15 van 37

De toepassing van de koppeling van hulpbronnen op de ondergrond is wetenschappelijk zeer schaars gedocumenteerd. Het is voor de uitvoerders van deze opdracht een actief onderzoeksonderwerp, maar uit voorlopige resultaten blijkt duidelijk dat dit een complex gegeven is waarbij, toegepast op de potentiële activiteiten in de diepe ondergrond, een perfecte koppeling inderdaad niet kan, en de koppeling gebeurt tussen activiteiten van boven- en ondergrond. Omwille van deze redenen wordt deze trap in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Het inschatten van beschikbare hoeveelheden is een klassiek probleem uit de economische geologie, omdat voor vele geologische hulpbronnen slechts een gedeeltelijke, onbekende fractie van de totale hoeveelheid gekend is. Traditioneel wordt de gekende en techno-economisch exploiteerbare hoeveelheid de 'reserve' van een bepaalde grondstof genoemd, maar dit getal evolueert van jaar tot jaar afhankelijk van de hoeveelheid exploratie en extractie (die beiden vraag-gedreven zijn).

Tijdens de workshop werd aangegeven dat het inschatten van voorraden een fundament vormt van de te formuleren criteria. Concreet werd gesuggereerd om de evolutie van voorraden doorheen de tijd op te volgen om de afname (of toename bij additieve activiteiten) hiervan tot en met de beëindiging van de activiteit te monitoren vb. aan de hand van productiecijfers, zoals ook voor de Vlaamse ondiepe grondstoffen het geval is. Alhoewel deze systemen oorspronkelijk hier niet voor ontworpen werden, kan deze opvolging gebeuren volgens UNFC-2019, of een gelijkwaardig systeem. .

- **Criteria:**
 - Activiteiten mogen de ondergrond niet sneller uitputten dan strikt noodzakelijk
 - Bij afweging tussen verschillende activiteiten, is deze lange-termijn efficiëntie doorslaggevend (voor toepassing van P1)

- Indikatoren:

Trapoverschrijdend criterium: onzekerheid

Gedeeltelijk is deze reeds ondervangen in de formulering van de indicatoren, meer bepaald waar onderscheid gemaakt wordt tussen geprojecteerde en gemonitorde activiteiten, het opvolgen doorheen de tijd, en het gebruik van UNFC-2019 (waarin de mate van (on)zekerheid van de aangegeven hoeveelheden één van de drie hoofdparameters is).

- Voor aanvang van een nieuwe activiteit wordt de initiële situatie vastgelegd zodat resultaten van monitoring of herstel kunnen vergeleken worden met een gekende (en geen veronderstelde) initiële situatie
- Gedurende de uitvoering van de activiteit wordt het behoud van omkeerbaarheid (of graad van omkeerbaarheid) getest (door het tijdelijk stilleggen van de activiteit, naar analogie met gangbare tests bij grondwaterproductie)
- Onzekerheden worden specifiek geïdentificeerd (zonder te overlappen met P6)

tot het gebruik van de geschikte tools om de ontwikkeling van de diepe ondergrond zo efficiënt en planmatig als mogelijk te beheren.

Voor de opdrachtgever van deze studie, het Vlaams Planbureau voor Omgeving, is planmatig en efficiënt gebruik van de diepe ondergrond een zeer belangrijk principe, vervat in het Decreet Diepe Ondergrond (DDO). Dit principe wordt afgetoetst bij elke vergunningsaanvraag (voor activiteiten die vallen onder het DDO) omwille van de ondergrondse ruimtedruk en ten einde suboptimale versnippering te vermijden. Het betekent evenwel niet dat er gestreefd wordt naar het vastleggen van een ondergrondskadaster waarbij de overheid een bestemmingsplan opmaakt (o.b.v. ideeën van de huidige generatie). Gezien de geldende basisprincipes van de Europese regelgeving (o.a. vrije markt met mededinging, exploitatierecht e.d.), zal ook een “structuurvisie diepe ondergrond” het first-come-first-served principe nooit volledig kunnen vermijden. Aanvragen blijven daardoor mogelijk voor een vergunning in een gebied dat niet uitgesloten is en als alle vastgelegde criteria positief geëvalueerd worden, kan de Vlaamse Regering de vergunning in principe niet weigeren.

Criteria en indicatoren verbonden aan principe 2

Algemeen kan gesteld worden dat het netto effect van het gebruik van de diepe ondergrond op de bovengrond positief moet zijn, waarbij het publieke voordeel moet vergroot worden eerder dan het private voordeel. Daarbij is het belangrijk om versnippering en onderbenutting door inefficiënt gebruik te vermijden.

- **Criteria:**
 - De verwachte netto-baat voor de samenleving die gerealiseerd wordt door toepassing van een activiteit kan op geen enkele andere manier gerealiseerd worden.
Subcriterium: de maatschappelijke nood waaraan voldaan wordt door toepassing van een activiteit kan op geen enkele andere manier voldaan worden.
 - De verwachte netto-baat voor de samenleving wordt zo groot mogelijk gemaakt (maximalisatie)
 - De verwachte netto-baat voor de samenleving die gerealiseerd wordt door toepassing van een activiteit vandaag is groter dan de verwachte netto-baat van andere, toekomstige activiteiten in de ondergrond

Hoewel dit principe de positieve en negatieve effecten van het gebruik van de ondergrond benoemt als ‘baten en kosten’, hoeven deze effecten niet noodzakelijk uitgedrukt te worden in geldtermen. De indicatoren kunnen kwantitatief, kwalitatief, continu, discreet, categorisch, ... van aard zijn. De lijst van indicatoren die bij deze criteria opgelijst staan, zijn algemeen en kunnen verder verfijnd worden al naargelang de projecten die geëvalueerd worden. Deze oplijsting is niet limitatief.

- **Indicatoren met betrekking tot het meten van interferenties tussen activiteiten en het vermijden van onderbenutting:**
 - Mate waarin de ontwikkeling van een activiteit impact heeft op een reeds bestaande of mogelijk toekomstige toepassing in de diepe ondergrond. Impact kan geologisch (zie indicatoren opgelijst in P1), economisch, milieu, of sociaal van aard zijn (zie indicator onder het P2 criterium met betrekking tot het behalen van het grootste netto voordeel voor de samenleving)
 - Mate waarin de gezamenlijke toepassing van verschillende activiteiten in de ondergrond (nu of in de toekomst) de geologische eigenschappen van de diepe ondergrond verandert (zie indicatoren opgelijst in P1) en welke milieu-impact, economische impact en sociale impact een gezamenlijke toepassing met zich meebrengt (zie indicator onder

- Mate waarin delen van de geologische hulpbron onbruikbaar worden voor andere toepassingen bij toepassing van een activiteit
- Mate waarin een deel van het geologisch volume onderbenut blijft
- Volume ingenomen door een activiteit
- Mate waarin er zich co-productie van andere hulpbronnen voordoet bij de ontwikkeling van een activiteit

- De huidige economische vraag naar hulpbronnen op lokaal, nationaal en internationaal niveau
- Projecties met betrekking tot de toekomstige vraag naar hulpbronnen op lokaal, nationaal en internationaal niveau
- Afweging van de gevraagde hoeveelheid tov het (internationaal) beschikbare aanbod van de hulpbron in de diepe ondergrond
- Mate waarin andere hulpbronnen in dezelfde maatschappelijke vraag kunnen voorzien en de mate waarin ze bijkomende maatschappelijke effecten hebben (zie indicator onder het P2 criterium met betrekking tot het behalen van het grootste netto voordeel voor de samenleving)
- Duurtijd dat een materiaal in de kringloop blijft
- Ontgonnen en niet-ontgonnen volume volgens een geschikt classificatiesysteem (zie ook P1)

- Nettobaat van een activiteit, in vergelijking met de nettobaat van andere beschikbare technologieën

- Verwachte sociale kosten voor lokale, nationale en internationale stakeholders
- Verwachte milieu -en klimaateffecten voor de lokale, nationale, en internationale stakeholders (vb. CO₂-uitstoot)
- Verwachte kosten met betrekking tot veiligheid voor de lokale, nationale, en internationale stakeholders
- Verwachte kans op seismiciteit
- Verwachte kans op grondverzakking
- Verwachte kans op lekkage van ongewenste stoffen
- Verwachte publieke kosten die gepaard gaan met de ontwikkeling van noodzakelijke bovengrondse infrastructuur
- Verwachte opportuniteitskosten (baten die niet gerealiseerd zullen worden door toepassing van een activiteit)
- Verwachte private kosten voor de projectontwikkelaar (zowel boven -als ondergronds)
- Verwachte kosten met betrekking tot bijproductie
- Andere verwachte maatschappelijke kosten

Indicatoren met betrekking tot de baten en het geheel aan positieve effecten die voortvloeien uit de ontwikkeling van een activiteit :

- pagina 22 van 37

2.3 PRINCIPE 3. PRINCIPE VAN EERLIJKE (OF RECHTVAARDIGE) VERDELING

Principe van eerlijke (of rechtvaardige) verdeling

Het gebruik van de ondergrond moet gepaard gaan met een eerlijke verdeling van kosten en baten binnen en tussen generaties.

De ontwikkeling van activiteiten in de diepe ondergrond en de bijbehorende onder- en bovengrondse infrastructuur kan vragen oproepen over eerlijkheid en rechtvaardigheid, over hoe de lusten en lasten van deze ontwikkelingen worden verdeeld tussen verschillende groepen in de samenleving en over generaties heen.

Terwijl bij principe 2 de maatschappij-brede afweging van kosten en baten centraal staat, behelst principe 3 de vraag hoe positieve en negatieve effecten verdeeld zijn binnen en tussen generaties. Of die verdeling als rechtvaardig beschouwd kan worden, is moeilijk in absolute termen uit te drukken, maar is veeleer relatief of proportioneel. Opvattingen over wat eerlijk of oneerlijk is, zijn contextgebonden en verschillen tussen betrokken actoren, maar ook in ruimte en tijd. Vandaar ook het opnemen van een principe rond inclusief bestuur (principe 5, zie infra) voor het maken van die afweging.

Een eerlijke en rechtvaardige verdeling betekent niet per definitie een gelijke verdeling. Het betekent wel dat er billijkheid moet zijn in de verhouding tussen kosten en baten of tussen positieve en negatieve effecten. Geologische omstandigheden zijn verschillend, waardoor activiteiten in de diepe ondergrond in bepaalde regio's meer tot ontwikkeling zullen komen dan in andere regio's. Dat in die regio daardoor een netto positief effect ontstaat, zal niet meteen als onrechtvaardig worden aanzien vanuit andere regio's, tenzij zij daardoor een buitensporig nadeel zouden ondervinden. In het omgekeerde geval, wanneer bij een maatschappelijk noodzakelijk geachte activiteit in de diepe ondergrond de betrokken omgeving een netto negatief effect zou ondervinden, zullen we dit sneller als onrechtvaardig beschouwen en daaraan bijvoorbeeld een vorm van compensatie verbinden. Hetzelfde geldt wanneer binnen een geologische gunstige regio het netto positief effect wel erg scheef verdeeld zou zijn tussen verschillende groepen (bv. exploitant versus omwonenden van de bovengrondse toegang, of aardwarmtenet voor dure nieuwbouwprojecten, maar niet voor wijken met overwegend sociale woningen) of wanneer er over generaties heen een verschuiving van positief naar negatief effect valt te verwachten.

Met de Duurzame Ontwikkelingsdoelen van de VN als referentiepunt (een oproep tot actie om een einde te maken aan armoede, de planeet te beschermen en het leven en de vooruitzichten van iedereen, overal, te verbeteren), wordt eerlijke verdeling hier daarom geïnterpreteerd als het voorkomen dat kosten worden afgewenteld op kwetsbare groepen of actoren die geen baat hebben bij een bepaalde ontwikkeling, en als het streven naar de garantie van extra voordelen voor degenen die het nodig hebben (bijvoorbeeld het expliciet betrekken van arme huishoudens bij geothermieprojecten).

Criteria en indicatoren verbonden aan principe 3

Algemeen kan gesteld worden dat iedereen de kans moet krijgen om de diepe ondergrond te benutten en dat kosten en baten proportioneel verdeeld moeten worden. Zij die kosten dragen, moeten daarvoor een baat/vergoeding ontvangen die proportioneel is ten opzichte van deze kosten. Onder kosten en baten worden alle mogelijke negatieve en positieve effecten verstaan, zoals opgenomen in principe 2.

Criteria met betrekking tot het beheer en de uitbating van de hulpbron

- **Criteria:**
 - Een vergunning is beperkt in de tijd (geen eeuwigdurende concessies)
 - Er worden exclusiviteitsregels voor de afbakening van een vergund volumegebied bepaald naargelang het type van activiteit
 - Bepaalde volumegebieden worden (gedeeltelijk) beschouwd als studiegebied met specifieke 'toegangsregels' die het uitvoeren van onderzoek in het algemeen belang mogelijk maken
- **Indicatoren:**
 - Aantal jaar dat de hulpbron geëxploiteerd mag worden
 - Mate waarin de hulpbron geëxploiteerd mag worden
 - Mate waarin het gebruik van een geologisch volume exclusief is
 - Mate waarin een bepaald gebied/volume als 'studiegebied' beschouwd wordt

Criteria met betrekking tot de beschikbaarheid van de hulpbron voor toekomstige generaties

- **Criteria:**
 - Flexibiliteit garanderen omdat de behoeften van toekomstige generaties onzeker zijn
 - De verwachte geologische, economische, milieu en sociale impact van de ontwikkeling van een activiteit op de mogelijkheden voor toekomstige generaties wordt periodiek bestudeerd
 - Er zijn regels bepaald over hoe het vergunde gebied (ondergronds en bovengronds) achter te laten bij ontmanteling om zo hergebruik mogelijk te maken
- **Indicatoren:**
 - Mate waarin het beheerplan van de hulpbron periodiek aangepast wordt aan een veranderlijke context en met het belang van de toekomstige generaties voor ogen.
 - Verwachte geologische, economische, milieu en sociale impact van de ontwikkeling van een activiteit voor de toekomstige generatie (zie andere indicatoren)
 - Mate waarin het vergunde gebied (ondergronds en bovengronds) achter gelaten kan worden bij ontmanteling om zo hergebruik mogelijk te maken

Criteria met betrekking tot een rechtvaardige verdeling van kosten en baten

- **Criteria:**
 - Maatschappelijke kosten die gepaard gaan bij de ontwikkeling van een activiteit worden niet disproportioneel meer gedragen door specifieke bevolkingsgroepen
 - Indien een bepaalde groep disproportioneel meer kosten draagt en er een mogelijkheid bestaat dat bepaalde stakeholder groepen negatieve impact ondervinden, worden er gepaste compensatieschema's voorzien

- pagina 25 van 37

2.4 PRINCIPE 4. PRINCIPE VAN TRANSPARANTIE

Principe van transparantie

Planning en ontwikkeling van de diepe ondergrond moeten op een transparante manier plaatsvinden. Dit omvat passende communicatie van data naar alle huidige en toekomstige belanghebbenden, en goed gegevensbeheer, geleid door zowel het FAIR-principe (vindbaar, toegankelijk, uitwisselbaar en herbruikbaar: Findable, Accessible, Interoperable and Reusable) als het principe “zo open als mogelijk, zo gesloten als nodig”.

Het principe van transparantie steunt op twee belangrijke pijlers:

- de beschikbaarheid van data middels goed gegevensbeheer, en
- een actieve, doelgroepspecifieke communicatie naar belanghebbenden.

Binnen dit principe wordt data beschouwd als alle vormen van gegevens, zowel kwantitatief als kwalitatief.

Beschikbaarheid van data

Als exploitant brengt het verzamelen van data kosten met zich mee. Tijdens de studie- en planningsfase wordt deze data daarom niet steeds openbaar beschikbaar gesteld. In lijn met de Aarhus Conventie, de Richtlijn inzake toegang tot milieu-data (2003/4/EG) en de MER wetgeving, ook van toepassing op onder meer ontginningen, dient zo veel mogelijk data raadpleegbaar te zijn voor potentieel geïmpacteerde actoren vanaf de vergunningsaanvraag. Omwille van ingeroepen commerciële belangen is evenwel niet alle data die ook voor niet-commercieel betrokken belanghebbenden (bv. omwonenden) interessant kan zijn openbaar beschikbaar. Vaak wordt op die manier meer data afgeschermd dan strikt noodzakelijk. Het uitgangspunt “zo open als mogelijk, zo gesloten als nodig”, benadrukt dat ernaar gestreefd moet worden om zoveel mogelijk data te delen zonder dat dit nadelige economische gevolgen heeft voor diegene die de data ter beschikking stelt. De regulerende overheid kan hierin een bemiddelende rol spelen (bv. partiële data beschikbaar stellen, inzagerecht onder bepaalde voorwaarden, ...). Een duidelijk wettelijk kader hiervoor (bv. met betrekking tot het tijdsaspect van wanneer data beschikbaar kan worden gesteld) ontbreekt nog op dit moment in Vlaanderen.

Passende communicatie

Niet alle betrokken belanghebbenden hebben noodzakelijkerwijze op hetzelfde moment behoefte aan dezelfde data. Communicatiebehoefte verschillen zowel qua vorm als inhoud tussen belanghebbenden, in functie van de tijd, het type activiteit en hun relatie daartoe. Transparante planning en ontwikkeling van de ondergrond houdt meer in dan het passief beschikbaar houden van alle relevante data ter consultatie. Het vraagt een actief beschikbaar maken van deze data voor alle mogelijke types belanghebbenden.

Wat de (diepe) ondergrond betreft, wordt data doorgaans gegenereerd op basis van modellen die bepaalde aannames bevatten. In die zin is het belangrijk om ook te communiceren over de metadata en andere relevante informatie. Daarnaast is het van belang om goed te identificeren wat momenteel ‘onbekend’ is en wat er nodig is om deze onbekende aspecten te begrijpen (“identifying the unknowns”).

Het beschikbaar maken en uitsturen van informatie, alsook het reageren op informatievragen is nog iets anders dan het inzetten op participatie in de besluitvorming. Dat aspect komt aan bod in het volgende principe, principe 5.

Criteria en indicatoren verbonden aan principe 4

Criteria zijn afhankelijk van de fase van het project en de stakeholder naar dewelke er gecommuniceerd wordt.

Criteria met betrekking tot toegankelijkheid

- **Criteria:**
 - Bij de ontwikkeling van een activiteit in de diepe ondergrond wordt alle data van maatschappelijk belang toegankelijk gemaakt
 - Belanghebbenden zijn via verschillende kanalen op de hoogte gebracht van de ontwikkeling van een activiteit in de ondergrond
 - Belanghebbenden hebben toegang tot zowel basis- als meer geavanceerde kennis van de ondergrond en over welke activiteiten potentieel hebben en realistisch zijn in Vlaanderen
 - Commerciële gevoelige data worden wel gedeeld met de toezichthoudende overheid of vergunningverlener en er worden afspraken gemaakt over hoe daarover gecommuniceerd kan worden met verschillende belanghebbenden
- **Indicatoren:**
 -
 - Mate waarin data publiek beschikbaar gemaakt worden (via de meest geschikte en toegankelijke kanalen)
 - Mate waarin modaliteiten voorzien worden opdat niet-commercieel betrokken belanghebbenden toegang kunnen hebben tot voor hen relevante, maar niet publiek beschikbare data
 - Mate waarin data beschermd worden volgens de meest recente richtlijnen en wetgeving

Criteria met betrekking tot rapportage

- **Criteria:**
 - Alle data die publiek beschikbaar gemaakt moet worden, worden op een gestandaardiseerde manier gerapporteerd.
 - Data rapportage volgt de FAIR principes (findability, accessibility, interoperability, and reusability)
- **Indicatoren:**
 - Mate waarin de data volgens het FAIR principe gerapporteerd wordt.
- **Criterium:**
 - Alle data die publiek beschikbaar gemaakt moeten worden, wordt onafhankelijk gecontroleerd
- **Indicatoren:**

- Mate waarin bij de ontwikkeling van een activiteit in de diepe ondergrond onafhankelijke instanties aangeduid worden om zowel publiek beschikbare als commercieel gevoelige data te controleren

Criteria met betrekking tot communicatie aan verschillende doelgroepen

- **Criterium:**
 - Bij de ontwikkeling van een activiteit wordt een communicatieportfolio uitgewerkt, dat een onderscheid maakt tussen verschillende stakeholders en waarin verschillende communicatiekanalen opgenomen zijn
- **Indicatoren:**
 - Communicatieportfolio
 - Mate waarin er een communicatiestrategie ontwikkeld is, afgestemd op de verschillende stakeholders, zodat ze op een geschikte manier en met een geschikte frequentie worden benaderd
 - Mate waarin er voor elk project in de diepe ondergrond...
 - ... gecommuniceerd wordt over mogelijke risico's en risicobeheer
 - ... gecommuniceerd wordt over samenwerkingen met andere partners
 - ... data beschikbaar wordt gesteld op verschillende niveaus van detail
 - ... gecommuniceerd wordt met toegankelijke taal en visualisaties

2.5 PRINCIPE 5. PRINCIPE VAN INCLUSIEF BESTUUR

Principe van inclusief bestuur

Zij die (mogelijk) gevolgen ondervinden van het gebruik van de diepe ondergrond moeten op passende wijze worden geïnformeerd, geraadpleegd en betrokken bij het besluitvormingsproces tijdens de planning, implementatie-, exploitatie- en ontmantelingsfasen van activiteiten in de ondergrond.

Zoals reeds geduid bij het vorige principe betekent “passend” in deze context dat verschillende groepen moeten worden betrokken op basis van hun behoeften en capaciteiten, zodat ze op een rechtvaardige manier kunnen deelnemen aan de besluitvorming. “Passend” hangt niet enkel af van de kenmerken van de betrokkenen, maar ook van de fase waarin een project zich bevindt.

Wie en hoe te betrekken, kan verschillen naargelang de situatie: dit zal anders lopen, mogelijks ook met (deels) andere belanghebbenden, in de planningsfase (bv. in het kader van de studiefase of opsporingsvergunning) of implementatiefase (gelinkt aan de omgevingsvergunning), dan wel in de exploitatie- en ontmantelingsfase. “Betrokken worden bij het besluitvormingsproces” hoeft niet te betekenen finaal mee te oordelen over een concrete vergunning, maar wel de kans te krijgen gehoord te worden in het traject vooraf.

“Gevolgen ondervinden” slaat hier niet noodzakelijk enkel op negatieve gevolgen en het ondervinden van schade, maar het spreekt voor zich dat een inclusief besluitvormingsproces expliciet aandacht dient te hebben voor zij die mogelijks negatieve gevolgen zullen ondervinden. Het principe van inclusief bestuur streeft ernaar particuliere belangen te overstijgen en een collectief bewustzijn, inzet voor de gemeenschap en een gedeelde visie op de toekomst te realiseren.

Rollen en verantwoordelijkheden van betrokken actoren moeten duidelijk gemaakt worden, wat niet belet dat deze kunnen variëren doorheen het proces. Er lijkt dan ook een belangrijke taak weggelegd voor de toezichthoudende overheid als bewaker van dit principe en als degene die bepaalt wie wanneer kan/moet deelnemen. Maar ook de initiatiefnemer (private projectontwikkelaar, overheid of combinatie van beide) heeft een duidelijke verantwoordelijkheid in het opzetten van een proces van inclusief bestuur.

Tijdens de workshop werd heel specifiek gesuggereerd dat de overheid een bemiddelende rol zou moeten opnemen indien belanghebbenden zich onvoldoende gehoord voelen in het ontwikkelingsproces van een bepaalde activiteit en dat het aan de overheid is om over te gaan tot de oprichting van een onafhankelijk controleorganisme of adviescomité voor het gebruik van de diepe ondergrond, naar voorbeeld van de VREG, de regulator van de Vlaamse energiemarkt. Dit leek de uitvoerders van deze studie een interessante piste om verder te verkennen, maar nog te prematuur om al te vertalen naar criteria en indicatoren.

Terwijl principe 3 focust op de verdeling van maatschappelijke kosten en baten tussen verschillende maatschappelijke actoren, en principe 4 focust op het verstrekken van informatie (voorlichting) en het delen van data met maatschappelijke actoren, focust principe 5 op de mate waarin en de manier waarop maatschappelijke actoren inspraak krijgen bij de besluitvorming en de ontwikkelingen van de activiteiten mee vorm kunnen geven.

Criteria en indicatoren verbonden aan principe 5

In onderstaande geven we eerst een algemene lijst van criteria en indicatoren voor stakeholderbetrokkenheid. Daarna worden een aantal meer specifieke criteria opgelijst voor de (toezichthoudende) overheid enerzijds en de initiatiefnemer anderzijds, waarbij enige overlap tussen algemene en meer specifieke criteria kan voorkomen.

Criteria met betrekking tot stakeholderbetrokkenheid

- Criteria:

- Belanghebbenden zijn op de hoogte van de verschillende stappen in het ontwikkelingsproces van de activiteit en weten waar ze voor informatie en met vragen en bedenkingen terecht kunnen
- Belanghebbenden worden betrokken tijdens elke fase van het project
- Belanghebbenden worden betrokken bij en op de hoogte gehouden van wetenschappelijk onderzoek omtrent het gebruik van de diepe ondergrond
- Er bestaat een duidelijk protocol met betrekking tot het participatieproces, afgestemd op de fase waarin een project zich bevindt
- Bij het bepalen van de risico's en het risicobeheer werd rekening gehouden met de visies en bekommernissen van diverse belanghebbenden (link met principe 6)
- In voorkomend geval, werden betrokken stakeholders gehoord over de (eventuele) uitwerking van een compensatieregeling (link met principe 6)

- Indikatoren:

- Mate waarin contactpersoon of meldingspunt aangeduid zijn bij de betrokken ontwikkelaar of exploitant en bij de bevoegde overheid
- Mate waarin burgers en belanghebbenden vragen, opmerkingen, bezwaarschriften indienen bij het daarvoor voorziene contactpunt
- Aantal vragen, opmerkingen, bezwaarschriften ingediend door burgers en belanghebbenden bij het daarvoor voorziene contactpunt
- Mate waarin vragen, opmerkingen, bezwaarschriften verscheiden zijn
- Mate waarin vragen van burgers en belanghebbenden door de verantwoordelijke instanties beantwoord zijn
- Aantal workshops of andere inspraakmomenten georganiseerd en mate waarin mogelijkheid gegeven wordt om feedback te geven.
- Aantal inspraakmomenten georganiseerd gericht op doelgroepen die moeilijk bereikbaar zijn
- Frequentie van informatie- en inspraakmomenten over de verschillende fasen heen (vanaf de exploratiefase tot en met de ontmantelingsfase en nabestemmingsfase)
- Aantal aanwezigen tijdens informatiemomenten of hoorzittingen
- Mate waarin de achtergrond van deelnemers aan informatiemomenten of hoorzittingen verscheiden is
- Aantal burgers financieel betrokken bij de ontwikkeling van het project (vb. als mede-eigenaar)
- Aantal burgers actief betrokken bij het project (vb. bij dataverzameling in het kader van wetenschappelijk onderzoek of in een co-creatie proces)
- Mate waarmee rekening gehouden wordt met de bekommernissen van diverse belanghebbenden (link met principe 6)
- Mate waarin verantwoordingsdocumenten bij compensatieregelingen publiek beschikbaar gemaakt worden (link met principe 6)

Criteria met betrekking tot de rol van de toezichthoudende overheid bij stakeholder participatie

- Criteria:

- De overheid voorziet in een kader van richtlijnen/best practices voor het betrekken van stakeholders (bv. zoals voorzien in de MER wetgeving)
- De overheid staat garant voor gelijke belangenbehartiging en bemiddelt waar nodig
- De overheid motiveert genomen beslissingen

- Indikatoren:

- Mate waarin er richtlijnen uitgewerkt zijn die aangeven hoe stakeholders te betrekken
- Mate waarin stakeholders vinden dat hun belangen gelijk behartigd worden
- Mate waarin beslissingen schriftelijk en openbaar gemotiveerd worden

Criteria met betrekking tot de rol van de initiatiefnemer bij stakeholder participatie

- Criteria:

- De initiatiefnemer toont bereidheid tot dialoog
- De initiatiefnemer heeft alle relevante belanghebbenden in kaart gebracht en hernieuwt regelmatig deze analyse
- De initiatiefnemer organiseert doorheen het ontwikkelingstraject overlegmomenten om in dialoog te gaan met burgers en belanghebbenden, ook na het bekomen van de vergunning
- De initiatiefnemer voorziet in een aanspreekpunt voor het uiten van bezorgdheden, het melden van eventuele schade, etc.

- Indikatoren:

- Aantal overlegmomenten georganiseerd door de initiatiefnemer
- Mate waarin een aanspreekpunt voor het uiten van bezorgdheden, klachten en het melden van schade aanwezig is
- Mate waarin het participatietraject met stakeholders concreet omschreven wordt en gedeeld met overheden en publiek.
- Mate en frequentie waarin (nieuwe) stakeholders in kaart gebracht worden
- Mate waarin gecommuniceerd wordt naar stakeholders en burgers
- Aantal personen aanwezig tijdens de overlegmomenten
- Aantal types van stakeholders aanwezig tijdens de overlegmomenten
- Aantal momenten waarop de initiatiefnemer communiceert
- Type van informatie dat gecommuniceerd wordt
- Mate waarin een procedure aanwezig is voor het behandelen van bezorgdheden, klachten en het melden van schade
- Aantal 'dossiers met betrekking tot bezorgdheden/schade' behandeld door het aanspreekpunt

2.6 PRINCIPE 6. PRINCIPE VAN VERANTWOORD RISICOBEEHEER

Principe 6 is opgedeeld in twee sub-principes.

Principe van verantwoord risicobeheer

- **Voorzorgsprincipe:** activiteiten met een onzeker potentieel voor significante schade moeten worden verboden totdat de initiatiefnemer van de activiteit wetenschappelijk aantoont dat de risico's voldoende gekwantificeerd zijn.

- Bij de ontwikkeling van een activiteit is er een kader aanwezig om huidige en toekomstige risico's, impact, en verwachte maatschappelijke kost in te schatten. Dit kader gebruikt daarbij risicocriteria en grenswaarden, die zo universeel mogelijk worden toegepast. Afwijkingen kunnen case-by-case gemotiveerd worden.
 - Bij de ontwikkeling van een activiteit wordt er een plan voor verantwoord risicobeheer opgesteld.
 - De bevoegde overheid laat zich adviseren door een onafhankelijk adviescomité van experts inzake de risicobeoordeling van het gebruik van de diepe ondergrond.
 - De risicobeoordeling gebeurt met een vooraf bepaalde frequentie tijdens de looptijd van het project, en indien relevant ook na de looptijd van het project.
 - Op basis van de evolutie van projectactiviteiten, het overschrijden van grenswaarden of voortschrijdend inzicht kunnen mitigatiemaatregelen of bijkomend onderzoek opgelegd worden.
 - Er mogen geen activiteiten met onomkeerbare gevolgen worden opgestart voordat de risico's voldoende geëvalueerd zijn.
 - Er is een participatief traject opgezet door de initiatiefnemer om met stakeholders in overleg te gaan over mogelijke risico's, verwachte impact en mogelijke maatschappelijke kosten en het risicobeheerplan (gelinkt aan P3 en P5).
 - Het risicobeheerplan omvat een compensatieregeling in geval er zich schade zou voordoen (gelinkt aan P3 en 5).
- **Indicatoren:**
- Mate waarin een kader beschikbaar is voor de inschatting van risico's, impact, en verwachte maatschappelijke kost bij de ontwikkeling van een activiteit.
 - Mate waarin een risicobeheerplan beschikbaar is waarbij er indicatoren opgenomen zijn omtrent o.a. risicobepaling, risicobeperking en monitoring.
 - Mate waarin het kader voor risicobeheer rekening houdt met onzekerheden, waarbij niet enkel de gemiddelde impact wordt beoordeeld, maar ook de extremen en de waarschijnlijkheid hiervan.
 - Mate waarin er wordt rekening gehouden met interferenties tussen activiteiten (gelinkt aan principe 2).
 - Mate waarin beslissingen gemotiveerd en transparant zijn (gelinkt aan principe 4).
 - Mate waarin er mogelijkheid is tot beroep en klachten/feedback (gelinkt aan principe 5).
 - Mate waarin het participatietraject dat opgestart zal worden door de initiatiefnemer om met stakeholders in overleg te gaan over mogelijke risico's, verwachte impact, en het risicobeheerplan, gedocumenteerd is (gelinkt aan principe 5).
 - Mate waarin een compensatieregeling in geval er zich schade zou voordoen, gedocumenteerd is (gelinkt aan principe 3 en 5).

3 HET OPSTELLEN VAN EEN EVALUATIEKADER GEKOPPELD AAN PRINCIPES, CRITERIA, EN INDICATOREN

De uitvoerders van deze opdracht ontwikkelden een methode die helpt om inzicht te krijgen in hoe beleid de ontwikkeling van de ondergrond kan sturen en de mate waarin de activiteiten in de ondergrond kunnen bijdragen aan de transitie naar een koolstofarme en circulaire economie. De methode werkt beslissingsondersteunend om beleidsmakers te helpen een visie en afwegingskader te ontwikkelen met betrekking tot het gebruik van de diepe ondergrond en een inschatting te maken van de mogelijke impact van verschillende beleidsscenario's (zie D6). Wat hieronder beschreven staat, is een korte toelichting bij de methode. Een uitgebreidere toelichting met betrekking tot de methode is terug te vinden in de impactanalyse (D7).

Het afwegingskader dat ontwikkeld wordt, bestaat uit twee onderdelen. Het eerste onderdeel omvat een beslisboommodel dat inzicht geeft in de waarschijnlijkheid dat een bepaalde activiteit tot ontwikkeling kan komen, gegeven bestaande activiteiten in de diepe ondergrond, geologische randvoorwaarden, criteria die opgelegd worden door het beleid, en de verwachte winstgevendheid voor private ontwikkelaars. Het tweede onderdeel omvat een multicriteria-analyse om de impact van de door het model aangegeven activiteiten gestructureerd voor te stellen.

3.1 HET BESLISBOOMMODEL

Het beslisboommodel is gestoeld op de reële optietheorie. Deze theorie laat toe om rekening te houden met onzekerheden en flexibiliteit bij de ontwikkeling van activiteiten in de diepe ondergrond doorheen de tijd. Er wordt vertrokken van alle activiteiten die mogelijks op specifieke locaties in de ondergrond toegepast kunnen worden binnen een tijdshorizon van 25 jaar.

Onder verschillende beleidsvisies en op basis van geologische randvoorwaarden en de verwachte winstgevendheid van elke activiteit geeft het model aan welke activiteiten met een bepaalde kans tot ontwikkeling kunnen komen, binnen deze tijdshorizon. Per beleidsvisie zullen verwachte geologische, milieu, sociale, en economische effecten kwalitatief of kwantitatief bepaald worden (i.e., een meting van een beperkte set van duurzaamheidsindicatoren uit het voorgaande hoofdstuk). Deze resultaten kunnen vervolgens gebruikt worden om af te toetsen in welke mate het gebruik van de ondergrond onder een bepaald beleidsvisiebeantwoord aan de voorgestelde duurzaamheidsprincipes. De beleidsvisies die onderzocht worden zijn opgenomen in deelrapport D4.

3.2 DE IMPACTEVALUATIE

Het tweede onderdeel van de impactanalyse is de impactevaluatie. Voor elke set van activiteiten geselecteerd door het model zullen meerdere impacts gemeten worden en gestructureerd in een spiderdiagram (zie deelrapport D7 voor verdere toelichting):

- Vermijden van uitputting (gelinkt aan principe 1).
- Het openhouden van ontwikkelingsopties voor toekomstige generaties (gelinkt aan principe 1)
- Economische waarde (gelinkt aan principe 2)

- Klimaatimpact (gelinkt aan principe 2)
- Benuttingsgraad (gelinkt aan principe 2)
- Afwezigheid interferenties (gelinkt aan principe 2)
- Afwezigheid belemmerende activiteiten (gelinkt aan principe 2)
- Sociale wenselijkheid van de activiteit (gelinkt aan principe 3)

De keuze van indicatoren is voornamelijk gebaseerd op data die beschikbaar is vanuit bestaande modellen en kennis. Toekomstig onderzoek kan de onderzochte set aan indicatoren verder verfijnen en uitbreiden. Principes 4-6 worden niet meegenomen in de evaluatie omdat deze principes procesmatig zijn en de impactanalyse enkel de geologische, economische, milieu, en sociale effecten onderzoekt en niet de procesmatige aspecten van het gebruik van de diepe ondergrond.

4 CONCLUSIE

Op basis van een literatuurstudie, een Delphi-bevraging in twee rondes bij nationale en internationale experts en een workshop met Vlaamse stakeholders, werden **6 principes** gedefinieerd voor een duurzaam gebruik van de diepe ondergrond:

- P1 - Principe van het behoud van hulpbronnen en assimilatievermogen
- P2 - Principe van efficiënte allocatie
- P3 - Principe van eerlijke (of rechtvaardige) verdeling
- P4 - Principe van transparantie
- P5 - Principe van inclusief bestuur
- P6 - Principe van verantwoord risicobeheer

Principes 1 tot 3 kunnen omschreven worden als ‘inhoudelijk’. Zij hebben in hoofdzaak betrekking op de inhoud van de activiteit(en) in kwestie. Principes 4 tot 6 zijn meer ‘procesmatig’. Zij hebben betrekking op bestuurlijke en beheeraspecten bij de ontwikkeling en uitvoering van de activiteit(en) in kwestie.

Deze principes kaderen binnen het theoretische en ethische raamwerk van de ecologische economie of donut economie. Zij stellen de noodzaak voorop van een regulerende rol van de overheid om de vrijemarkteconomie binnen de gelimiteerde planetaire en sociale grenzen te houden.

Voor elk van deze principes werden vervolgens criteria en indicatoren uitgewerkt. Indicatoren zijn daarbij de maatstaven waarmee de impact van het gebruik van de diepe ondergrond gemeten kunnen worden. De voorgestelde criteria en indicatoren dienen gezien te worden als een eerste stap in een proces waarbij deze op regelmatige basis verfijnd en geüpdatet dienen te worden. De toepasbaarheid van deze criteria en indicatoren moet verder in de praktijk getest worden. Sommige formuleringen blijven nog vaag en in algemene termen. Zij dienen nog verder aangepast te worden aan specifieke situaties, wegens hun locatie- en activiteit- gebonden karakter.

Een aantal van de voorgestelde criteria zijn vandaag al opgenomen of vervat in bestaande wetgevende kaders. Voor andere is dit niet of nog niet het geval. Het is ook niet noodzakelijk dat alle criteria vertaald worden in wet- en regelgeving of in administratieve procedures. Dit kan ook via bv. sectorafspraken, onderzoeksprogramma's of andere initiatieven.

Dit PC&I raamwerk zal gebruikt worden om bij de uitwerking van de impactanalyse (D7) en de bepaling van de geologische, economische, milieu en sociale effecten, de resultaten af te toetsen aan deze duurzaamheidsprincipes.

REFERENCES

1. Van Ree, C.C.D.F. and P.J.H. van Beukering, *Geosystem services: A concept in support of sustainable development of the subsurface*. Ecosystem Services, 2016. **20**: p. 30-36.
2. Michael, K., et al., *Framework for the assessment of interaction between CO2 geological storage and other sedimentary basin resources*. Environmental Science: Processes & Impacts, 2016. **18**(2): p. 164-175.
3. Mouter, N., A. de Geest, and N. Doorn, *A values-based approach to energy controversies: Value-sensitive design applied to the Groningen gas controversy in the Netherlands*. Energy Policy, 2018. **122**: p. 639-648.
4. Field, B.B.B.F.R.H.K.N.A.S.H., *Managing potential interactions of subsurface resources*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 2018. **232**(1): p. 6-11.
5. Gray, M.G.J.E.B.E.J., *Geodiversity and the ecosystem approach: the contribution of geoscience in delivering integrated environmental management*. PGEOLA Proceedings of the Geologists?? Association, 2013. **124**(4): p. 659-673.
6. Van Gessel, S.F., et al., *Geological services towards a sustainable use and management of the subsurface: a geoethical imperative*. Annals of Geophysics, 2017. **60**.
7. Vidovic, J., et al., *EuroGeoSurveys: from a non-profit association to a geological service for Europe*. Geological Society, London, Special Publications, 2020. **499**(1): p. 129-137.
8. Gill, J.C., *Geology and the sustainable development goals*. Episodes Journal of International Geoscience, 2017. **40**(1): p. 70-76.
9. Griffioen, J., et al., *A technical investigation on tools and concepts for sustainable management of the subsurface in The Netherlands*. Science of The Total Environment, 2014. **485-486**: p. 810-819.
10. Commission, B., *World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. 1987, Oxford University Press, Oxford.
11. Robinson, J., *Squaring the circle? Some thoughts on the idea of sustainable development*. Ecological Economics, 2004. **48**(4): p. 369-384.
12. Daly, H.E., *Allocation, distribution, and scale: towards an economics that is efficient, just, and sustainable*. Ecological Economics, 1992. **6**(3): p. 185-193.
13. Elkington, J. and I.H. Rowlands, *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Alternatives Journal, 1999. **25**(4): p. 42.
14. Raworth, K., *Doughnut economics: seven ways to think like a 21st-century economist*. 2017: Chelsea Green Publishing.
15. Krawchenko, T.A. and M. Gordon, *How Do We Manage a Just Transition? A Comparative Review of National and Regional Just Transition Initiatives*. Sustainability, 2021. **13**(11): p. 6070.
16. Martinez-Alier, J., G. Munda, and J. O'Neill, *Weak comparability of values as a foundation for ecological economics*. Ecological Economics, 1998. **26**(3): p. 277-286.
17. Daly, H.E. and J. Farley, *Ecological Economics, Second Edition: Principles and Applications*. 2011: Island Press.
18. Van Cauwenbergh, N., et al., *SAFE—A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2007. **120**(2): p. 229-242.
19. BERTIER, P., et al., *Palaeo-climate controlled diagenesis of the Westphalian C & D fluvial sandstones in the Campine Basin (north-east Belgium)*. Sedimentology, 2008. **55**(5): p. 1375-1417.
20. Daly, H.E., *Toward some operational principles of sustainable development*. Ecological Economics, 1990. **2**(1): p. 1-6.